

# **L'Africa romana**

I luoghi e le forme dei mestieri  
e della produzione nelle province africane

Atti del XVIII convegno di studio  
Olbia, 11-14 dicembre 2008

A cura di  
Marco Milanese, Paola Ruggeri,  
Cinzia Vismara

Volume terzo



Carocci editore

In copertina: Il teatro di *Sabratba* (foto di Attilio Mastino).

1<sup>a</sup> edizione, novembre 2010  
© copyright 2010 by  
Carocci editore S.p.A., Roma

Finito di stampare nel novembre 2010

ISSN 1828-3004  
ISBN 978-88-430-5491-6

Riproduzione vietata ai sensi di legge  
(art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633)  
Senza regolare autorizzazione,  
è vietato riprodurre questo volume  
anche parzialmente e con qualsiasi mezzo,  
compresa la fotocopia,  
anche per uso interno o didattico.

I lettori che desiderano  
informazioni sui volumi  
pubblicati dalla casa editrice  
possono rivolgersi direttamente a:  
Carocci editore  
via Sardegna 50 - 00187 Roma  
telefono 06 / 42818417 - fax 06 / 42747931

Visitateci sul nostro sito Internet:  
<http://www.carocci.it>

Volume pubblicato con il contributo finanziario di



**Fondazione Banco di Sardegna**



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI**



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

ASSESSORATO DEGLI AFFARI GENERALI,  
PERSONALE E RIFORMA DELLA REGIONE



**PROVINCIA DI SASSARI**

*Comitato scientifico*

Aomar Akerraz, Angela Antona, Piero Bartoloni, Nacéra Benseddik, Paolo Bernardini, Azedine Beschouch, Antonietta Boninu, Giovanni Brizzi, Francesca Cenerini, Rubens D'Oriano, Emilio Galvagno, Elisabetta Garau, Julián González, Antonio Ibba, Mustapha Khanoussi, Giovanni Marginesu, Attilio Mastino, Marco Milanese, Alberto Moravetti, Giampiero Pianu, Marco Rendeli, Daniela Rovina, Paola Ruggeri, Sandro Schipani, Ahmed Siraj, Pier Giorgio Spanu, Alessandro Teatini, Cinzia Vismara, Raimondo Zucca

*Coordinamento scientifico*

Centro di Studi Interdisciplinari sulle Province Romane dell'Università  
degli Studi di Sassari

Viale Umberto I 52 - 07100 Sassari  
telefono 079 / 2065203 - fax 079 / 2065241  
e-mail: [africaromana@uniss.it](mailto:africaromana@uniss.it)

# Rubens D'Oriano, Giovanni Pastore

## Un frammento del Planetario di Archimede da Olbia

### I

#### Scienza e tecnologia del Calcolatore di Antikythera

Il ritrovamento del Calcolatore di Antikythera (FIG. 1) nelle acque antistanti l'omonima isola greca fra l'Egeo e lo Jonio, assieme ad altri oggetti di un carico databile tra 80 e 50 a.C. probabilmente diretto a Roma, è certamente tra le più sorprendenti scoperte archeologiche dell'ultimo secolo<sup>1</sup>. Il meccanismo era costituito da una manovella che azionava, presumibilmente, 32 ingranaggi a ruote dentate di bronzo (lega di rame al 4,1% circa di stagno<sup>2</sup>) con-

\* Rubens D'Oriano, archeologo, Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Sassari e Nuoro; Giovanni Pastore, ingegnere, docente a contratto di Costruzioni meccaniche presso le Facoltà di Ingegneria di alcune Università italiane, Policoro (Matera). I paragrafi 1, 2, 3, 4, 7 e 8 sono di G. Pastore, i paragrafi 5 e 6 di R. D'Oriano; i paragrafi 9 e 10 sono di entrambi gli autori.

G. Pastore esprime vivi ringraziamenti a Giacomo Scolaro di Policoro per il suo instancabile e prezioso sostegno scientifico. Questa è la prima pubblicazione in sede specialistica dell'importantissimo reperto, che copre interessi sia di antichistica che di storia della scienza. Essa è pertanto redatta tenendo presente un pubblico che va dagli antichisti agli studiosi di discipline matematiche e affini; pertanto i primi perdoneranno alcune specificazioni per essi pleonastiche e i secondi l'assenza di ulteriori dati di tipo squisitamente matematico, ingegneristico e simili qui non riportabili anche per motivi di spazio e attingibili, in attesa di un'edizione apposita, in [www.giovannipastore.it](http://www.giovannipastore.it)

1. Bibliografia fondamentale: D. J. DE Solla Price, *An Ancient Greek Computer*, «Scientific American», June 1959, pp. 60-7; ID., *Gears from the Greeks: the Antikythera mechanism. A calendar computer from ca. 80 B.C.*, «Transactions of the American Philosophical Society», November 1974 (numero monografico); G. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori. Tecnologia e scienza del calcolatore astronomico dei Greci. Istruzioni per l'uso dei regoli calcolatori logaritmici matematici, cemento armato e speciali, con numerosi esempi di calcolo*, Roma 2006; [www.giovannipastore.it](http://www.giovannipastore.it).

2. Gli altri elementi di lega (piombo, arsenico, sodio, nichel, oro, ferro) sono

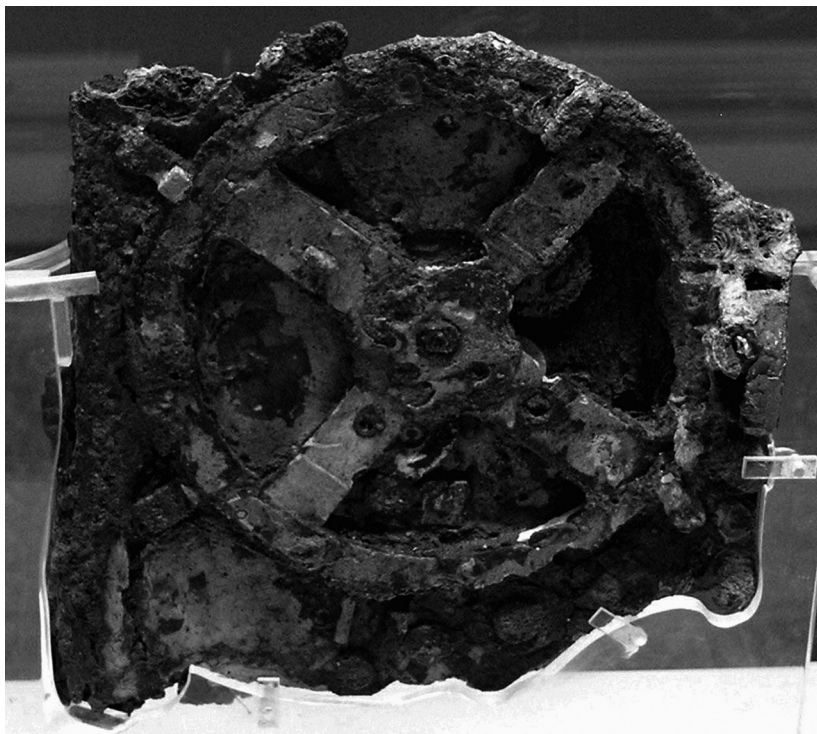


Fig 1: Reperto principale del Calcolatore di Antikythera. Museo Archeologico Nazionale, Atene.

tenuti in una scatola di legno, grande quanto una scatola di scarpe. Questi ingranaggi facevano ruotare delle lancette su appositi quadranti.

Dopo il suo ritrovamento avvenuto nel 1902, per cinquant'anni non si è capito cosa fosse. Nel 1951 Derek John De Solla Price (1922-1983) cominciò, per la prima volta, a studiare il meccanismo nei dettagli anche con radiografie ai raggi gamma e, dopo circa venti anni di ricerche, riuscì a capire come funzionasse definendolo un calcolatore astronomico, cioè un planetario meccanico.

Aveva la funzione di riprodurre le fasi lunari e il moto del Sole e della Luna fra le costellazioni dello zodiaco. Probabilmente pote-

tutti in quantità trascurabili, anche molto inferiori allo 0,5%. Lo zinco è totalmente assente: DE SOLLA PRICE, *Gears from the Greeks*, cit.

va rappresentare anche il moto attorno al Sole dei pianeti visibili ad occhio nudo<sup>3</sup>. Poteva servire sia come strumento per la navigazione sia come strumento per indagini astronomiche.

Gli ingranaggi di bronzo sono stati realizzati con la tecnologia all'epoca disponibile, comunque insufficiente per la precisione che si poteva ottenere. Le imperfezioni nei rotismi (numerosissimi), gli attriti, cioè, in definitiva, la tecnologia inadeguata non lo consentiva<sup>4</sup>. Anche Derek J. De Solla Price ha tentato di realizzare un modello del Calcolatore di Antikythera, con gli stessi materiali e le stesse tecniche degli ellenici, ma non è riuscito a farlo funzionare anche se la sua teoria si può ritenere giusta. Perfino i calcolatori meccanici ad ingranaggi realizzati in epoca moderna da Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716), Giovanni Poleni (1685-1761) e Charles Babbage (1792-1871), pur corretti nel progetto, non funzionarono, non riuscirono ad eseguire una sola operazione a causa della scarsa precisione dei meccanismi. Il regolare funzionamento di sofisticati meccanismi ad ingranaggi richiede una elevata precisione costruttiva, conseguibile solo con la moderna tecnologia meccanica. Solo negli ultimi centocinquanta anni lo sviluppo tecnologico ha permesso di raggiungere la perfezione necessaria. Tutto ciò non sminuisce il merito del costruttore della macchina di Antikythera, anzi ci mostra una straordinaria conoscenza scientifica, matematica, meccanica, una grande ed audace libertà di pensiero in un contesto ancora tecnologicamente non maturo (e lo sarà ancora per quasi duemila anni).

Il Calcolatore di Antikythera al momento del ritrovamento apparve come un falso o come un dispositivo fuori del suo tempo. Per molti anni alcuni archeologi affermarono che a quell'epoca non era possibile produrre apparecchiature di tale complessità cinematica. Pensavano persino, erroneamente, a un moderno strumento a orologeria affondato con una diversa nave e che, casualmente, avesse preso posto sulla nave romana. La corretta datazione antica è stata poi asserita inconfutabilmente dagli studi di De Solla Price nel 1974.

Il rotismo epicicloidale con cui è stato costruito il meccanismo evidenzia l'elevato livello della cultura scientifica raggiunto in quel

3. I cinque pianeti visibili ad occhio nudo a cui si fa riferimento nell'antichità sono: Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. Urano sarà scoperto da Herschel nel 1781, Nettuno da Galle e Le Verrier nel 1846 e Plutone da Tombaugh nel 1930.

4. PASTORE, *Antikythera e i rotoli calcolatori*, cit.

periodo. La progettazione di questo speciale ingranaggio fa presumere che alcuni scienziati ellenistici fossero a conoscenza del calcolo del moto planetario dei corpi celesti. Il rotismo epicicloidale, infatti, può essere stato utilizzato, per la peculiare similitudine cinematica, come modello matematico per il calcolo del moto planetario celeste<sup>5</sup>. Apollonio di Perga (261-190 ca. a.C.), contemporaneo di Archimede, nel suo trattato *Le Coniche*, di probabile derivazione Babilonese, fa cenno al “movimento epiciclico” ancor prima di Ipparco di Nicea (180-127 ca. a.C.). Lo spazio qui disponibile non permette di trattare, sia pure in forma riassuntiva, una materia così complessa e, pertanto, si rimanda ad altre sedi<sup>6</sup>.

## 2

### Il calcolatore astronomico nella letteratura classica

Il Calcolatore di Antikythera è ad oggi l'unico planetario giunto fino a noi, ma le fonti classiche ne citano un altro ben più antico, costruito da Archimede nel III secolo a.C., anch'esso presumibilmente con meccanismi ad ingranaggi. Infatti Cicerone (106-143 a.C., contemporaneo quindi all'affondamento del Calcolatore di Antikythera) riferisce (*De re publica*, I, 14, ed anche 21 e 22; inoltre *Tusculanae disputationes*, I, 63) che, dopo la conquista di Siracusa nel 212 a.C., il console romano Marcello aveva portato a Roma un globo celeste e un planetario costruiti da Archimede (287-212 a.C.). Questo planetario è menzionato anche da Ovidio (I secolo a.C.) nei *Fasti* (VI, 263-283), da Lattanzio (IV secolo) nelle *Divinae institutiones* (II, 5, 18) e in un epigramma di Claudiano (IV secolo) intitolato *In sphaeram Archimedis*. In particolare, Claudiano aggiunge che lo strumento era racchiuso in una sfera stellata di vetro. È sempre Cicerone che ci tramanda l'ultima notizia nota sul planetario, quando fu visto a casa di Marco Claudio Marcello (l'omonimo nipote del primo detentore) da Gaio Sulpicio Gallo, che si dilettava di astronomia, suo collega di pretura nel 169 a.C. e di consolato nel 166 a.C.<sup>7</sup>. Purtroppo non è rimasta alcuna descrizione dettagliata dei meccanismi che animavano il planetario in

5. *Ibid.*

6. *Ibid.*

7. Cfr. A. Ibba in Appendice, *Politica e spostamenti di Marco Claudio Marcello*, pp. 1810-1814.

quanto l'opera di Archimede *Sulla costruzione della Sfera*<sup>8</sup>, in cui descriveva i principi seguiti nella costruzione, è andata perduta.

Non si sa bene chi sia stato l'inventore del Calcolatore di Antikythera. Interpretando le iscrizioni rinvenute, De Solla Price stabilì che l'oggetto doveva essere stato realizzato a Rodi, dove nel I secolo a.C. viveva l'astronomo Gemino, e rimesso a punto nell'80 a.C. sulla base delle posizioni delle stelle in quell'anno. Altri esperti suggeriscono Posidonio (135-151 a.C.), maestro di Gemino, uno studioso di scienza sperimentale, profondo conoscitore delle maree e delle fasi lunari. Anch'egli di Rodi, costruì un planetario sul modello di quello di Archimede<sup>9</sup>. Nell'87 a.C. fu inviato come ambasciatore di Rodi a Roma, dove soggiornò altre volte. Fra i suoi uditori ebbe Cicerone e soprattutto Pompeo. In questo caso il Calcolatore di Antikythera sarebbe potuto essere stato un dono inviato da Posidonio a qualche romano, magari allo stesso Cicerone che, invero, non parla, nella parte del *De re publica* disponibile, di un tale apparecchio, ma solo del planetario attribuito ad Archimede.

Marcello, che avrebbe conosciuto e apprezzato l'immenso valore del genio di Archimede e forse avrebbe voluto utilizzarlo al servizio della Repubblica, sarebbe stato profondamente addolorato per la sua morte<sup>10</sup>. La fama del genio siracusano perdurò per molti secoli successivi fino al Medioevo, per poi riemergere con vigore nel Rinascimento. Anche Cicerone fu un grande ammiratore di Archimede, tanto che, quando fu nominato questore in Sicilia nel 75 a.C., racconta<sup>11</sup> di avere scoperto egli stesso la tomba di Archimede grazie ad una sfera inscritta in un cilindro, che vi sarebbe stata scolpita in ottemperanza alla volontà dello scienziato. È pertanto possibile che il Calcolatore di Antikythera sia stato commissionato dallo stesso Cicerone che soggiornò a Rodi tra il 79 e il 77 a.C.<sup>12</sup>, o da qualche nobile romano, proprio a Posidonio, in sostituzione di quello di Archimede, del quale si perdono le tracce dopo il 166 a.C., ma di cui era ancora viva la memoria. Probabilmente Cicerone non ne parla, perlomeno nella parte del *De re publica* disponibile (scritto nel 54-51 a.C.), perché il Calcolatore di Antikythera non arrivò mai a Roma in quanto andò perso nel naufragio nei

8. PAPP., VIII, 1026.

9. CIC., *nat. deor.*, II, XXXIV-XXXV (87-88).

10. LIV., XXV, 31; PLUT., *V. Marc.*, XIX.

11. CIC., *Tusc.*, V, 64-66.

12. DE SOLLA PRICE, *Gears from the Greeks*, cit.



pressi dell'isola greca, avvenuto presumibilmente nel periodo 80-50 a.C.<sup>13</sup>, o perché eventuali altri esemplari non funzionavano perfettamente come quello di Archimede.

## 3

### Il più antico calcolatore analogico della storia

I planetari meccanici ad ingranaggi, come quello di Antikythera o di Archimede, funzionavano come un calcolatore portatile a programma fisso nel senso che si inserivano i dati, i giri della manovella corrispondenti ai giorni, e la macchina, che era già “programmata nell'hardware” per quegli algoritmi di calcolo, dava direttamente le informazioni attinenti, cioè le posizioni del Sole e della Luna rispetto alle costellazioni (e forse anche le posizioni degli altri pianeti, così come sostiene De Solla Price<sup>14</sup>). I planetari ad ingranaggi, come pure le calcolatrici meccaniche, sono sistemi a logica fissa dove cioè il software, e quindi gli algoritmi di calcolo, è insito nella macchina stessa (hardware). Per modificare tali algoritmi bisogna sostituire le leve e gli ingranaggi. Invece, nei sistemi a logica programmabile, come i moderni planetari elettronici o gli attuali computer, è possibile modificare gli algoritmi di calcolo utilizzati per la simulazione del moto dei corpi celesti modificando solo il software, pur restando inalterato l'hardware.

Nel Planetario di Antikythera il moto del Sole e della Luna è rappresentato da due lancette che ruotano a differenti velocità sul quadrante anteriore su cui sono riportate le costellazioni dello zodiaco. Purtroppo, come già detto, non è rimasta alcuna descrizione dettagliata dei meccanismi che animavano il Planetario di Archimede in quanto la sua opera *Sulla costruzione della Sfera*, in cui descriveva i principi seguiti nella costruzione, è andata perduta. Notizie della sua esistenza ci pervengono da Pappo. Attualmente il Calcolatore di Antikythera risulta essere il più antico calcolatore analogico conosciuto della storia.

Nel Calcolatore di Antikythera il quadrante anteriore, del Sole e della Luna, funzionava in modo analogo ad un moderno orologio analogico, dove al posto del quadrante con le dodici ore vi era un quadrante con i dodici segni dello zodiaco, al posto della lancetta delle ore vi era la lancetta del Sole e invece della lancetta dei minuti

<sup>13</sup>. *Ibid.*

<sup>14</sup>. *Ibid.*

vi era la lancetta della Luna. Per essere precisi l'unica differenza è di tipo cinematico e consiste nel fatto che, mentre in un moderno orologio la lancetta dei minuti compie dodici giri esatti per ogni giro completo di quella delle ore, nel Calcolatore di Antikythera la lancetta della Luna compie circa 12,36826623 giri per un giro completo della lancetta del Sole. Questo perché il "giorno lunare", inteso come il tempo occorrente per mostrare lo stesso emisfero di fronte al Sole e che corrisponde al mese sinodico, è costituito mediamente da circa 29,530590 giorni terrestri, cioè 29g 12h 44m 03s. Da qui emerge l'impossibilità di realizzare con strumenti ad ingranaggi la simulazione del moto planetario celeste con precisione assoluta: il rapporto di trasmissione che regola i cicli degli astri è un numero irrazionale (365,242199 circa per l'anno solare e 29,530590 circa per il mese lunare o sinodico), almeno come rapporto di numeri interi non molto grandi, mentre il rapporto di trasmissione realizzabile con le ruote dentate è un numero razionale, dato cioè dal rapporto dei numeri dei denti delle ruote dentate, che necessariamente sono numeri interi e non eccessivamente grandi per motivi costruttivi<sup>15</sup>.

## 4

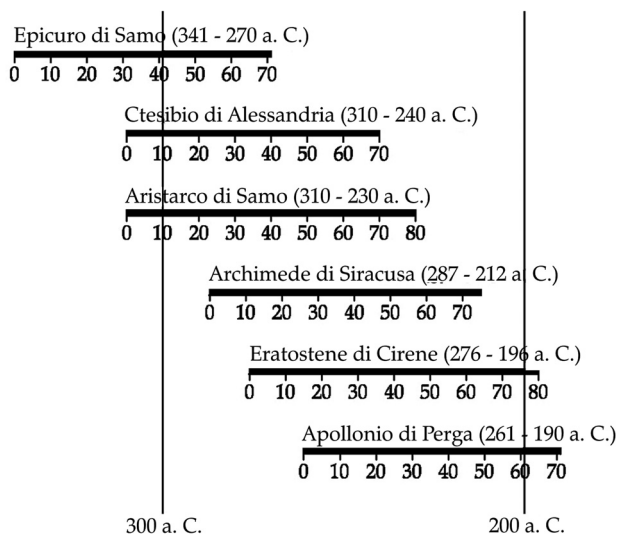
### **Il Calcolatore di Antikythera anticipa la scienza moderna: eliocentrismo, moto epicicloidale, gravitazione e teoria dei vortici**

Il sistema planetario eliocentrico, proposto in epoca moderna da Copernico nel 1543, è stato anticipato nell'antichità da Aristarco di Samo (310 ca.-230 a.C.). I suoi studi furono però osteggiati per molti secoli successivi fino alla teoria eliocentrica proposta da Niccolò Copernico, consentendo così l'affermazione della teoria geocentrica di Aristotele (384-322 a.C.) e di Claudio Tolomeo (100-170 ca.), che quest'ultimo riporta nell'*Almagesto*. Aristarco fu sostenuto solo da pochi scienziati, alcuni suoi contemporanei, come Archimede, che cita la teoria eliocentrica di Aristarco nel suo libro *L'Arenario*, e da Seleuco di Seleucia (II secolo a.C.). La maggior parte degli scritti di Aristarco è andata perduta e non è possibile sapere quali siano stati gli elementi da lui addotti in favore della sua teoria. Il modello cinematico dello speciale ingranaggio epicicloidale presente nel meccanismo di Antikythera<sup>16</sup>, così come il relativo algoritmo di calcolo, è lo stesso del

15. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori*, cit.

16. Pochi sono gli strumenti scientifici prodotti dagli antichi che siano giunti fino a noi, ma quei pochi vanno considerati con estrema attenzione. Infatti non ci sono perve-

Tabella 1: Cronologia dei più importanti scienziati ellenistici.



Nota: I numeri a decine segnano l'età dei personaggi

moto planetario dei corpi celesti. Come già accennato, la conoscenza del moto planetario, necessaria per la progettazione del rotismo epicloideale presente nel Calcolatore di Antikythera, potrebbe essere stata, per la peculiare similitudine cinematica con il moto planetario celeste, uno dei motivi che indusse Aristarco e uno sparuto numero di scienziati ellenistici a sostenere la teoria eliocentrica ed essi potrebbero aver conseguito gli stessi risultati raggiunti in epoca moderna. Il modello matematico e lo sviluppo analitico, per brevità, qui non sono inclusi, ma sono stati ampiamente trattati in altra sede<sup>17</sup>.

Il valore scientifico di questo meccanismo ad ingranaggi è indiscutibile perché l'inventore del Calcolatore di Antikythera potrebbe aver anticipato di diciannove secoli (ovviamente il meccanismo di Olbia porterebbe ad un anticipo ancora maggiore, come vedremo in seguito)

nuti altri ingranaggi dell'antichità, anche se la letteratura antica racconta che Erone di Alessandria (I secolo) conosceva e usava meccanismi ad ingranaggi, seppur costruiti con la precisione che la tecnologia del tempo poteva consentire. Anche Aristotele scrive già nel 330 a.C. che i Greci costruivano complessi meccanismi ad ingranaggi.

17. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori*, cit.

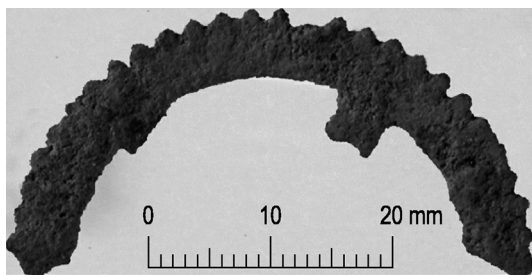


Fig. 2: Olbia, frammento di ruota dentata dallo scavo dell'ex Mercato prima del restauro (foto E. Grixoni).

i risultati della legge della gravitazione universale formulata da Isaac Newton nel 1687 (*Philosophiae naturalis principia mathematica*), ha precorso ed utilizzato la teoria eliocentrica proposta da Niccolò Copernico nel 1543 (*De revolutionibus orbium coelestium*) ed ha anticipato lo studio cinematico dei rotismi epicycloidal pubblicata da Robert Willis nel 1841 nei *Principles of Mechanism*<sup>18</sup>.

## 5

### Ritrovamento, contesto e cronologia della ruota dentata di Olbia

Nel luglio del 2006, durante lo scavo d'emergenza della porzione di abitato di fase fenicia, greca, punica e romano repubblicana di Olbia fino ad allora sovrastata dal Mercato Civico, era in corso l'indagine di una delle varie strutture abitative di impianto punico presenti nell'area<sup>19</sup>. In uno degli strati che si appoggiavano alla muratura, il secondo dall'alto e ben distinguibile dal primo, fu raccolto un frammento di una ruota in lega di rame con bordo sagomato a denti che parvero allora di profilo triangolare (FIG. 2). La ruota mi parve subito del tutto analoga a quelle del Calcolatore di Antikythera, fino ad allora un *unicum* sul piano dell'evidenza archeologica. Tale interpretazione fu subito confermata dall'autorevole parere di G. Pastore, il più profondo conoscitore del reperto

18. R. WILLIS, *Principles of Mechanism*, Cambridge 1841 (II ediz. Longmans Green and Co., London 1870).

19. L'indagine è stata diretta sul campo da G. Pisanu, che ringrazio per avere concesso l'edizione di questo reperto e del suo contesto. Per notizie sull'intero scavo G. PISANU, *Olbia punica: lo scavo dell'ex Mercato*, in *Ricerca e confronti 2006, Atti delle Giornate di studio di archeologia e storia dell'arte* (Cagliari, 7-9 marzo 2006), a cura di S. ANGIOLILLO, M. GIUMAN, A. PASOLINI, Cagliari 2007, pp. 249-57.

greco, al cui commento rimando per tutte le specifiche argomentazioni. Come si vedrà in quelle pagine, l'esemplare olbiese apporta importantissime novità sulla scienza antica, che travalicano per certi aspetti persino quelle derivanti dallo stesso Calcolatore di Antikythera anche in relazione alla seriorità rispetto ad esso, seriorità che è pertanto doveroso argomentare in dettaglio.

Nello strato sono presenti alcuni residui<sup>20</sup>, mentre gli altri materiali databili sono (FIG. 3):

- 1) orlo d'anfora punica Ramón T 5.2.1.1 di III-II secolo a.C.<sup>21</sup>;
- 2) orlo d'anfora punica Ramón T 4.2.2.5 di seconda metà III-prima metà o metà II secolo a.C., con *akmé* 225-175<sup>22</sup>;
- 3) orlo d'anfora punica Ramón T 7.4.2.1 di prima metà II secolo a.C.<sup>23</sup>;
- 4) ansa d'anfora rodia con bollo AMYN[TA] e corona laureata, databile tra il 192 e gli anni Settanta del II secolo a.C. in cronologia tradizionale o 181-164 a.C. in cronologia bassa<sup>24</sup>;
- 5) fondo di coppa di ceramica Campana A tipi Morel 2951a di "II secolo?", 2952a verso 150-140 a.C., 2954a attorno alla metà del II secolo a.C.<sup>25</sup>;
- 6) orlo di coppa a vernice nera, di produzione non identificata ma non Campana A, tipo Morel 2841d datato verso la metà o la seconda metà del II secolo a.C.<sup>26</sup>.

20. Dato lo spazio disponibile in questi Atti, si fornisce solo la cronologia e l'identificazione tipologica ad essa funzionale dei reperti datanti la chiusura deposizionale dello strato. I residui sono: orlo d'anfora fenicia Ramón T 1.4.4.1 di V secolo a.C., fondo di coppa d'imitazione della ceramica attica (probabilmente *out-turned rim*) di fine IV-inizi III secolo a.C., fondo di coppa à *petites estampilles* GPS II o III del 280-260 a.C. circa, orlo d'anfora greco-italica MGSVI del 260-210 a.C. circa, coppetta a vernice nera non identificata, ma non Campana A, direi ancora di III secolo a.C. Un denario d'argento di zecca di Roma posteriore al 211 a.C. (per la cui identificazione ringrazio F. Guido) può invece essere ben circolante ancora nel II secolo a.C.

21. J. RAMÓN TORRES, *Las ánforas fenicio-púnicas del Mediterráneo central y occidental*, Barcelona 1995, p. 196; p. 407 fig. 58, 1.

22. Ivi, p. 194, p. 404 e fig. 55, 3.

23. Ivi, pp. 209 s., p. 431 e fig. 79, 5.

24. B. GAROZZO, *I bolli anforari della collezione "Withaker" al Museo di Mozia*, in *Atti delle Terze Giornate Internazionali di Studi sull'area elima (Gibellina-Erice-Contessa Entellina, 23-26 ottobre 1997)*, Pisa-Gibellina 2000, p. 563, 18 e tav. XCVII, 6. Per un banale lapsus nella descrizione del bollo la corona laureata è detta posta a sinistra del nome invece che a destra.

25. J.-P. MOREL, *Céramique campanienne. Les formes*, Roma 1981, p. 238 e pl. 81.

26. Ivi, p. 231 e pl. 77.

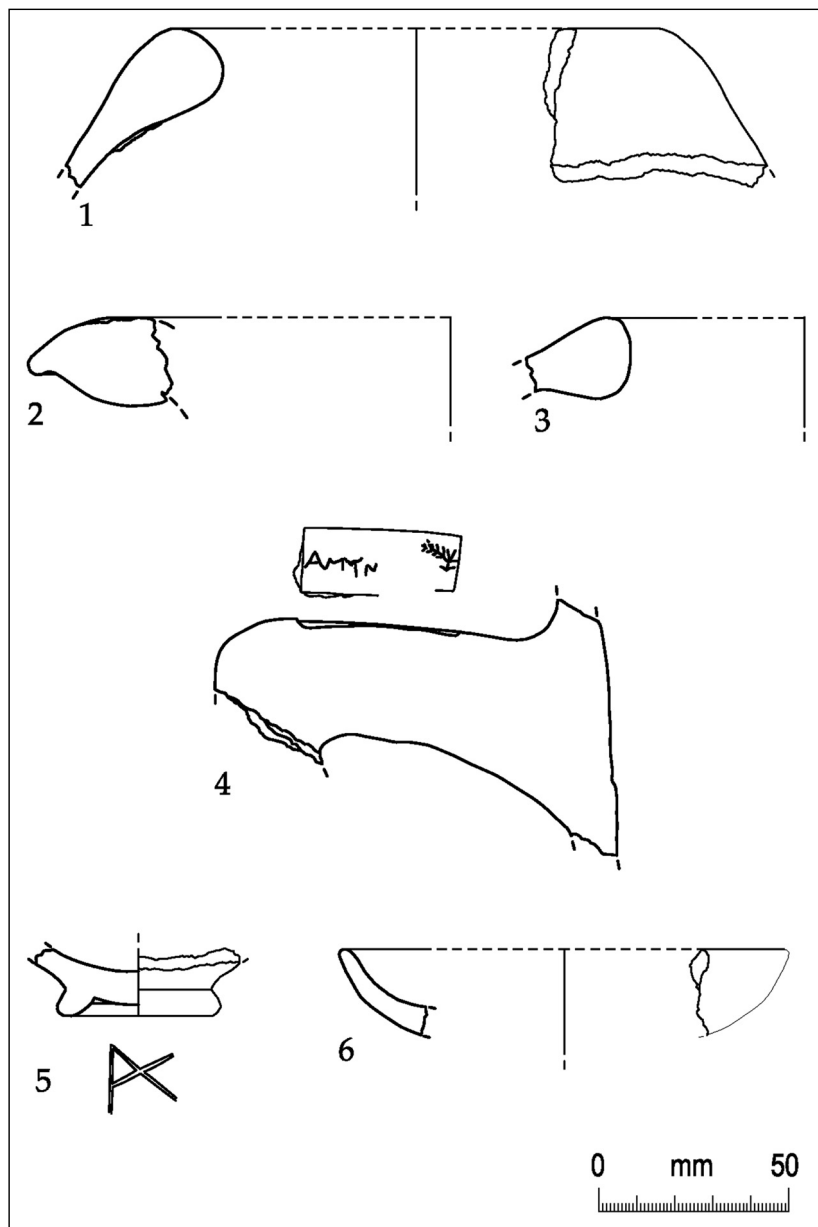
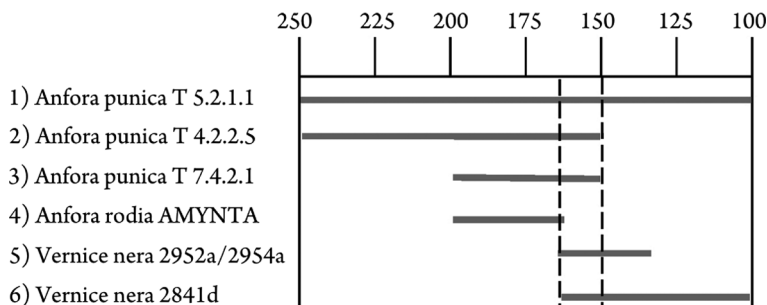


Fig. 3: Olbia, materiali datanti lo strato di rinvenimento della ruota dentata (disegni di G. Sedda, elaborazione digitale di G. Puggioni).

Tabella 2: Cronologia dello strato.



Quattro dei reperti (nn. 2-5) toccano o non oltrepassano la metà del II secolo a.C. e nessuno dei sei è attestato tipologicamente alla fattoria di S'Imbalconadu, nell'agro di Olbia, integralmente scavata e edita, il cui impianto si fissa verso la fine del terzo quarto del II secolo<sup>27</sup>. Alla luce di questi dati mi pare legittimo far rientrare entro la metà del II secolo a.C. anche i nn. 1 e 6; la metà del II secolo a.C. (fine del secondo venticinquennio circa) è la fase cronologica che accomuna i sei reperti (TAB. 2) ed è pertanto il momento di formazione dello strato, il cui processo deposizionale pare piuttosto circoscritto nel tempo, come indica anche la sua scarsa potenza (15 cm circa) e come è usuale per quelli di vita di un abitato<sup>28</sup>.

Il frammento di ruota dentata non è databile di per sé e quindi sul piano metodologico è da ritenere, fino a prova contraria, che la sua dispersione nel terreno sia contestuale alla formazione dello strato.

Si pone a questo punto il problema della cronologia di realizzazione del meccanismo di cui era parte la nostra ruota dentata: di quanto precedente la formazione dello strato? Il quesito è rilevante in relazione alla possibilità di connetterlo direttamente alle conoscenze di una figura centrale della scienza antica quale quella di Archimede. Verso una datazione di alcuni decenni anteriore allo

27. A. SANCIU, *Una fattoria d'età romana nell'agro di Olbia*, Roma 1997, p. 154.

28. La presenza di residui è un fenomeno ben attestato in questa porzione dell'abitato di Olbia, ove facilmente si spiega per la maggiore attestazione delle strutture abitative e relativi materiali di seconda metà IV e III secolo a.C. rispetto a quelli del II secolo a.C., nel corso del quale avviene l'abbandono dell'area: PISANU, *Olbia punica: lo scavo dell'ex Mercato*, cit.

strato indirizzano considerazioni inerenti l'uso, il valore e il contesto sociale del meccanismo di cui la ruota era parte.

a) Si trattava di un oggetto di grande rilevanza, da immaginare pertanto conservato il più a lungo possibile con ogni cura, come mostra il caso di quello di Archimede portato a Roma nel 212 a.C. dal console Marco Claudio Marcello come bottino di guerra dopo la conquista di Siracusa e ancora funzionante nel 169-166 a.C. quando lo esaminò Gaio Sulpicio Gallo, fonte delle notizie ciceroniane, grazie alla cortesia del suo amico e collega di magistrature in quegli anni Marco Claudio Marcello, omonimo nipote del primo possessore.

b) La rottura di un dente e la lieve torsione da tensione meccanica subita dalla ruota, visibile all'osservazione laterale, denunciano un utilizzo protratto per un numero di volte che sia congruo con il suo deterioramento nonostante l'uso attento da parte di esperti. Ora, poiché è difficile immaginare questo uso come quotidiano, il numero di volte di un utilizzo che sia congruo con il deterioramento nonostante l'uso attento da parte di esperti si dovrebbe tradurre in un lasso di tempo non breve. Anche in questo caso è pertinente l'esempio del congegno di Archimede ancora in funzione almeno sino al 169-166 a.C.

Alla luce di queste osservazioni, mi pare legittimo supporre che la dispersione del frammento, per rottura dello stesso, sia avvenuta in un tempo coincidente sì con la metà del II secolo a.C. ma dopo qualche decennio d'uso. Direi perciò che anche per la realizzazione del congegno olbiese si possa indicare orientativamente una datazione non lontano dall'attività del grande genio siracusano, cessata con la morte nel 212 a.C.

## 6

### **Come mai un Calcolatore tipo Antikythera a Olbia?**

Un oggetto di questa natura poteva essere fruito solo da parte di chi possedesse sofisticatissime conoscenze scientifiche, personaggi quindi al vertice della società e/o studiosi attorno ad essi gravitanti, come mostrano anche gli unici altri due esemplari noti: quello realizzato da Archimede tramandato nella famiglia di Marcello, e quello di Antikythera, che faceva parte del carico di una nave che trasportava materiali di grande pregio quali il celeberrimo "Efebo" bronzeo, quindi destinato a esponenti di spicco del mondo probabilmente romano<sup>29</sup>.

29. C'è forse la conoscenza, magari indiretta, di un (altro?) oggetto analogo die-



Dal momento che la pertinenza di questi congegni doveva essere fortemente elitaria, sarebbe legittimo domandarsi come mai ne troviamo uno a Olbia, che non era certo uno dei grandi centri della cultura ellenistica ma solo una cittadina portuale mediterranea di medio livello. Se ne potrebbe dedurre che questo esemplare dimostri, al contrario, una diffusione di tali meraviglie scientifiche più ampia e capillare di quanto si pensi, ma vedremo come questa conclusione non sia sostenibile.

Anzitutto non pare plausibile immaginare che la presenza a Olbia del meccanismo sia dovuta a fattori accidentali quali un saccheggio, un furto o simili, perché il valore dell'oggetto poteva essere compreso solo da chi ne fosse esperto. Nella stessa direzione va la constatazione che esso fu dismesso in seguito alla cessata funzionalità dovuta al suo uso proprio e prolungato, che non sarebbe avvenuto se da ultimo fosse stato detenuto, a Olbia o altrove, da chi non lo sapeva usare. Va perciò presupposto il possesso e uso da parte di esperti della materia che, come detto sopra, sono personaggi del vertice della società o studiosi ad essi legati.

La cronologia più probabile per la realizzazione del Calcolatore di Olbia abbiamo visto essere vicina all'attività di Archimede verso la fine del III secolo a.C., mentre la sua rottura e eliminazione si compiono nella metà del II secolo a.C. In questo lasso di tempo il record archeologico mostra che contatti di Olbia sia massivi sia elitari sussistono non certo con la Sicilia, né con gli altri grandi centri della cultura scientifica ellenistica, ma ovviamente con Roma, che ha conquistato l'intera Sardegna nel 238 a.C. e vi invia in progresso di tempo – oltre a una massa via via crescente di merci, milizie, input culturali, socio-economici e simili – il fior fiore della propria aristocrazia con funzioni di governo, i cui esponenti in sede locale è facile intuirli intenti a dispiegare il maggiore apparato possibile di esibizione del rango in termini di mezzi, di uomini, di beni di prestigio ecc.<sup>30</sup>. In questo quadro trovo del tutto plausibile

tro la descrizione della sfera che Afrodite promette a Eros nelle *Argonautiche* (III, 135-139) di Apollonio Rodio, non a caso bibliotecario di Alessandria e contemporaneo di Archimede: «una palla veloce... È fatta di cerchi dorati, e attorno ad ogni cerchio, dall'una parte e dall'altra, girano intorno gli anelli, ma le giunture sono nascoste; sopra di loro corre una azzurra voluta» (trad. di G. Paduano, BUR, Milano 1997, p. 395).

30. Per quanto riguarda questo aspetto della prima presenza romana ad Olbia sarà presto disponibile la sintesi di G. PIETRA, *I Romani a Olbia: dalla conquista della città punica all'arrivo dei Vandali*, in *Meetings between Cultures in the Ancient Medi-*

individuare in uno di questi aristocratici provenienti da Roma il detentore del Calcolatore di Olbia, esibito in loco appunto quale simbolo di status di vertice, per esempio sfruttandone le capacità previsionali di fenomeni celesti come segno di conoscenza superiore del cosmo se non di rapporto privilegiato con esso, come insegna il caso di Gaio Sulpicio Gallo che prevede forse grazie al Planetario di Archimede l'eclisse di luna prima della battaglia di Pidna (v. *infra*, pp. 1802 e 1811).

## 7

## L'Ingranaggio di Olbia

Come visto sopra, la cronologia del frammento di ingranaggio ritrovato nel 2006 ad Olbia è per realizzazione compatibile con la fine del III secolo a.C., e cioè con il culmine dell'attività di Archimede, proprio nella fase apicale della scienza ellenistica. Al momento risulta essere, pertanto, il più antico ingranaggio della storia sul piano dell'evidenza archeologica e non stupisce quindi che stia suscitando un grandissimo interesse nella comunità scientifica internazionale. Anche per l'Ingranaggio di Olbia, come già specificato sopra per quello di Antikythera, lo spazio qui disponibile non permette la piena esplicitazione del complesso studio, per il quale rimando ad altre sedi<sup>31</sup>.

Il materiale del frammento metallico si pensava fosse bronzo, una lega di rame e stagno molto diffusa e utilizzata nell'antichità. Invece, dall'analisi chimica spettrografica, è emersa una sorpresa inattesa. Il metallo è risultato essere ottone, lega rame e zinco (i cui elementi di lega sono riportati nella TAB. 3), come è risultato dalle analisi eseguite il 30 ottobre 2008 dal laboratorio della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Sardegna<sup>32</sup>.

L'utilizzo di una lega metallica come l'ottone, così preziosa nell'antichità ma con migliori caratteristiche meccaniche e tecnologiche<sup>33</sup>

*terranean*, Atti del XVII Congresso Internazionale di Archeologia Classica (Roma, 22-26 settembre 2008), in stampa, alla quale rimando per i dati e la loro interpretazione in tal senso.

31. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori*, cit. È in preparazione uno studio di maggiore dettaglio sull'Ingranaggio di Olbia che qui, per mancanza di spazio, non è possibile riportare integralmente.

32. Analisi EDS di A. Canu e G. Demontis.

33. Negli ottoni con contenuto di zinco inferiore al 36% circa, la struttura cristallina della lega ricalca quella del rame, cioè cubica a facce centrate. Questi ottoni

Tabella 3: Analisi chimica spettrografica del frammento, percentuali degli elementi presenti.

Elemento di lega	Analisi n. 1 (%)	Analisi n. 2 (%)
Rame	55,8	56,4
Zinco	13,6	13,8
Piombo	1,4	2,0
Carbonio	10,0	8,4
Ossigeno	18,4	17,8
Silicio	0,7	1,0
Cloro	0,2	0,2
Calcio	—	0,1
Ferro	—	0,2
Arsenico	—	0,2

hanno eccellente lavorabilità a freddo, sia per deformazione plastica (imbutitura e stampaggio) che per asportazione di truciolo; buona è anche la lavorabilità a caldo. Anche le proprietà meccaniche dell'ottone (lega rame e zinco), rispetto al bronzo (lega rame e stagno), sono migliori: è meno fragile ed è quindi più adatto alla fabbricazione di parti meccaniche molto sollecitate come le ruote dentate. Nell'antichità l'ottone era molto più pregiato del bronzo tanto che fino all'impero di Diocleziano (284-305) il suo valore era da sei a otto volte superiore rispetto a quello del rame. Sebbene sembra attendibile che l'ottone sia stato scoperto nel I millennio a.C., risulta tuttavia che né i metallurgici dell'età classica, né quelli del Medioevo furono in grado di preparare zinco metallico, che infatti fu ottenuto soltanto nel XVI secolo. Gli ottoni dell'antichità venivano prodotti mediante un particolare processo di cementazione, riscaldando cioè il rame in presenza di minerale di zinco (carbonato od ossido) polverizzato e di polvere di carbone, e non per fusione perché lo zinco evaporerebbe in fase di fusione per la eccessiva differenza fra la temperatura di fusione del rame (che è di 1084°C) e quella dello zinco (che è di 420°C), mentre il punto di ebollizione dello zinco è di 907°C, inferiore a quello di fusione del rame. Riscaldando il tutto ad una temperatura intermedia si ottengono vapori di zinco che si diffondono nel rame. Molto rari sono quindi i manufatti in ottone dell'antichità, anche se non mancano esempi nella zona di influenza greca dell'Italia sin dal VII secolo a.C. La lega con cui è stato realizzato l'Ingranaggio di Olbia è da escludere sia stata prodotta per rifusione di monete antiche. Giova ricordare che le monete (sesterzio e dupondio), in cui è stata utilizzata una lega di rame e zinco simile all'ottone (l'oricalco), sono più recenti in quanto sono state prodotte durante la riforma monetale di Augusto, dal 23 a.C. ca. in poi. Monete più antiche di rame e zinco normalmente contenevano anche argento, che invece non è presente nel metallo dell'Ingranaggio di Olbia. Si può supporre, pertanto, che la lega metallica con cui è stato realizzato l'Ingranaggio sia stata prodotta appositamente e in prima fusione. L'arsenico, che è volatile, ha un limitatissimo valore metallurgico e trasmette alla lega la sua caratteristica fragilità. Il basso titolo dell'arsenico, risultato solo nell'analisi n. 2 ed assente in quella n. 1 e che potrebbe derivare da contaminazioni nella lavorazione, conferisce alla lega elevata resilienza, che è la capacità di resistere agli urti e agli strappi.

rispetto al bronzo, è molto appropriata per la costruzione di organi meccanici fortemente sollecitati come le ruote dentate. Tale scelta non può essere casuale ma è sicuramente dovuta a una profonda conoscenza della metallurgia del rame e delle costruzioni di apparecchiature meccaniche. Il bronzo, infatti, era più diffuso e meno costoso dell'ottone, ma molto fragile e meno adatto per la costruzione di ruote dentate. L'unica sua grande peculiarità tecnologica è la buona fusibilità, che consente di ottenere manufatti anche di piccole dimensioni con la tecnica della "fusione a cera persa", conosciuta fin dall'antichità ed ancora oggi utilizzata.

Il reperto di Olbia è parte di una ruota dentata di 43 mm di diametro, con in origine 55 denti sull'intera corona circolare. Essendo il numero 55 dato unicamente dal prodotto dei numeri primi 5 e 11, è molto probabile che questa ruota sia stata utilizzata in una catena cinematica di ruote dentate in cui si voleva realizzare un rapporto di trasmissione molto prossimo a quello di qualche ciclo astronomico, i cui valori sono numeri irrazionali. Pertanto, proprio il numero di denti 55 della corona dentata è lapalissiana ulteriore prova della corretta antica datazione del reperto in quanto il suo utilizzo è necessariamente in una catena cinematica di un antico planetario, piuttosto che in un banale dispositivo meccanico. Una ruota con 55 denti, infatti, non potrebbe essere utilizzata in orologi misuratori del tempo, rinascimentali o moderni, perché detta ruota, posta in una catena cinematica, non darebbe un numero intero quale rapporto di trasmissione complessivo, così come invece richiede la misurazione del tempo per ottenere una suddivisione "esatta" in 12 o 24 ore. A meno di non ingranare con un'altra ruota con numero di denti multipli di 11 e 5, considerata la difficile operazione di divisione delle corone in 55 parti o multipli, ciò appare inverosimile. Una divisione in 55 parti uguali non è affatto semplice da realizzare senza apposite attrezzature a dividere di precisione; può essere realizzata correttamente con una fresatrice universale insieme ad un moderno apparecchio divisore e solo con un disco divisore avente 22, 33, 44 o 55 fori, figuriamoci con i soli mezzi a disposizione nel III secolo a.C. I Babilonesi adottarono nella loro numerazione la base 60 proprio perché il numero 60 è facilmente divisibile al fine di ottenere un numero intero; 60 è divisibile per 2, 3, 5, e quindi anche per 12 o 24 ore. Il sistema sessagesimale è utilizzato ancora oggi per indicare la misura del tempo e degli angoli.

Ai Babilonesi era relativamente facile raggiungere un notevole

grado di accuratezza nelle loro approssimazioni grazie alla loro notazione frazionaria, la migliore che sia mai stata creata da qualsiasi civiltà fino al Rinascimento. Ad esempio, il valore della radice quadrata di 2 calcolata dai Sumeri<sup>34</sup> era di  $1+24/60+51/60^2+10/60^3$  uguale a circa 1,414212963, mentre il suo valore esatto è di 1,414213562. Questa incredibile precisione, con un arrotondamento solo sulla sesta cifra decimale, fa escludere l'ipotesi della misurazione empirica sul terreno: per ottenere sei decimali esatti occorrerebbe misurare la diagonale di un quadrato di un chilometro di lato con la precisione di un millimetro, che è la milionesima parte del chilometro. Il mistero è come i Sumeri (che è dubbio conoscessero il metodo per estrarre la radice quadrata) siano giunti al risultato; è probabile che esso sia stato ottenuto con una grande quantità di calcoli sempre più approssimati. Molto probabile invece è che i Greci<sup>35</sup> abbiano ereditato tali conoscenze scientifiche, e quindi anche Archimede che aveva intense relazioni con i tanti scienziati suoi contemporanei, come ad esempio Aristarco di Samo ed Eratostene di Cirene, quest'ultimo direttore della celebre Biblioteca di Alessandria, con cui è provato fosse anche in contatto epistolare. Lo stesso Archimede si recò più volte alla Biblioteca di Alessandria.

La corretta costruzione di tali meccanismi richiedeva inoltre il possesso di precise misurazioni astronomiche, come i valori dei pe-

34. Tavoletta sumera di argilla n. YBC 7289, del 1800-1600 a.C. circa, cioè un caso particolare del Teorema di Pitagora ma mille anni prima di Pitagora. La tavoletta è conservata a Yale. Il tedesco Otto Neugebauer (1899-1990) la studiò nel 1945.

35. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori*, cit. Il mondo greco del periodo ellenistico raccoglie i frutti maturi di una tradizione centenaria. Spesso, erroneamente, si immagina la civiltà ellenistica come quella greca del periodo classico, o di Pericle (495-429 a.C.), in cui primeggiavano le scuole artistiche, umanistiche e filosofiche, e che, di conseguenza, non avesse un elevato livello di raffinatezza scientifica. Dopo le conquiste di Alessandro Magno (356-323 a.C.), che aveva fuso insieme le più antiche civiltà orientali con quella greca, quest'ultima si era evoluta nella ben diversa civiltà ellenistica in cui, nonostante il limitato livello tecnologico, le nozioni scientifiche erano estremamente sviluppate. Anzi, proprio il mancato sviluppo delle applicazioni tecniche e il solo parziale legame della scienza con la tecnologia, per le ataviche motivazioni ideologiche, la ricerca scientifica soffrì e venne fortemente penalizzata e rallentata ma, contemporaneamente, si è avuta un'élite di scienziati di altissimo livello. Gli scienziati non poterono contare su strumenti essenziali, anche se la tecnologia del tempo avrebbe permesso di costruirli in misura molto limitata. In ogni caso, lo spirito scientifico dei Greci dell'età ellenistica era molto più sviluppato di quello dei Romani, che riuscirono a prevalere sul piano militare e del diritto civile ma non in campo scientifico.

riodi dei cicli astronomici che come si è detto sono numeri irrazionali. Per eseguire tali misurazioni, per l'elevata precisione richiesta, non bastava il tempo di una vita. Questo ci induce a ritenere che anche queste conoscenze, dati e osservazioni siano state ereditate da antiche civiltà orientali quali India e Babilonia dopo le conquiste di Alessandro Magno, e dagli stessi Greci delle precedenti epoche. Solo i dati raccolti lungo il corso di più generazioni rendono possibile pervenire a teorie tanto elaborate. Lo stesso moto di precessione della Terra e soprattutto il moto delle stelle "fisse" segnalati da Ipparco di Nicea (180-127 a.C. ca.), sono così lenti che si è dovuto attendere Newton e Halley, rispettivamente, per constatarne l'effettivo movimento. Lo stesso dicasi per i cicli di Metone (v secolo a.C.) e di Callippo (v secolo a.C.). Lo spazio qui disponibile non permette la piena esplicitazione del complesso calcolo cinematico, per il quale rimando ad altre sedi<sup>36</sup>.

Quanto detto confermerebbe la grande accuratezza delle osservazioni astronomiche e la straordinaria precisione utilizzata nel calcolo della simulazione della meccanica celeste con questi cinematici ad ingranaggi.

La comparazione con la moneta da un euro dà l'idea delle piccole dimensioni del reperto di Olbia (FIGG. 4-5). Anche queste ridotte dimensioni hanno fatto ritenere, fin dal suo ritrovamento, che potrebbe essere stato parte di un congegno molto simile a quello di Antikythera, risalente al I secolo a.C. Prima del restauro, a causa della presenza di abbondante ossido su tutta la superficie del frammento, i denti apparivano di profilo triangolare come quelli del Calcolatore di Antikythera. Del resto anche l'Astrolabio Bizantino (FIG. 6), costruito otto secoli dopo quest'ultimo e conservato al London Science Museum, ha ingranaggi in lega di rame con denti triangolari, proprio come il Calcolatore astronomico greco. Un meccanismo disegnato da Abu Raihan al-Biruni nel 996 riporta ruote dentate<sup>37</sup> a profilo triangolare. Oltre che nel Calcolatore di Antikythera e nell'Astrolabio Bizantino, che con quello di Olbia sono gli unici ingranaggi pervenutici dall'antichità, ingranaggi con denti a profilo triangolare sono stati utilizzati, nei suoi disegni di mac-

36. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori*, cit. Vedasi in particolare il capitolo *Cicli astronomici dell'antichità*.

37. Il disegno è molto più semplice di quello del Calcolatore di Antikythera, ma è molto probabile che sia derivato da un altro planetario simile, ma certamente di origine ellenistica.

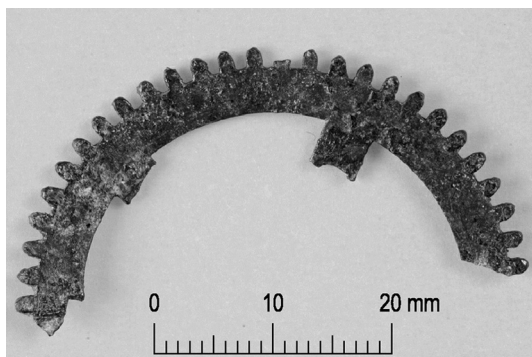


Fig. 4: Olbia, ruota dentata dopo il restauro (foto G. Pulina)

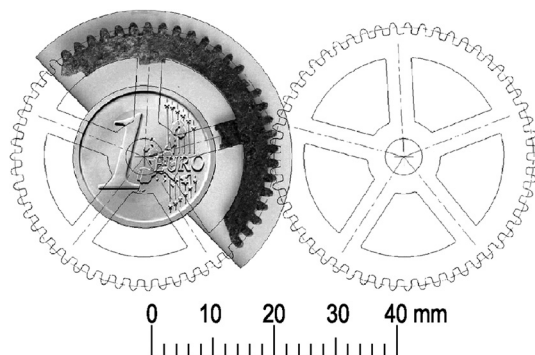


Fig. 5: Ricostruzione in scala dell'Ingranaggio di Olbia (di G. Pastore).

chine, anche da Leonardo da Vinci (1452-1519), il quale, in particolare nella tavola 956r (nuova numerazione) del *Codice Atlantico*, presenta studi con ingranaggi a profilo triangolare per un complesso meccanismo ad orologeria, probabilmente un planetario<sup>38</sup>.

Nelle prime fasi del restauro<sup>39</sup> si è indagato sull'Ingranaggio di

38. Edizione Giunti Gruppo Editoriale, Firenze 2000. Ingranaggi con denti a profilo triangolare sono disegnati da Leonardo da Vinci, fra l'altro, nel *Codice Atlantico*, tavola 812r e tavola 956r, nuova numerazione. In quest'ultima, al centro della ruota, è riportato, in grafia non speculare, il nome della Terra, e accanto la Luna, i pianeti Venere e Mercurio, più distante lo Zodiaco. Il che fa pensare a un complesso meccanismo ad orologeria, probabilmente un astrario, un astrolabio o un planetario, di cui Leonardo continuò ad interessarsi anche nel Codice di Madrid I.

39. Eseguito da L. Piras presso il Centro di restauro di "Li Punti" della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Sardegna.



Fig. 6: Ruota dentata dell'Astrolabio Bizantino del London Science Museum (foto G. Pastore).

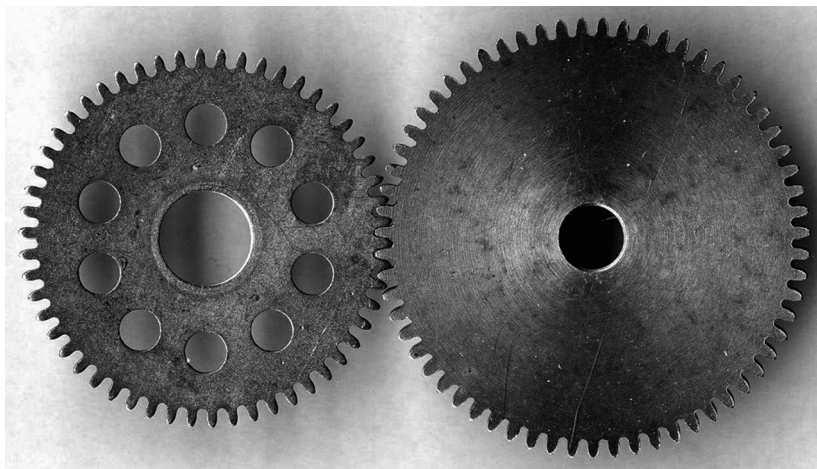


Fig. 7: Ingranaggi moderni (foto G. Pastore).



Olbia alla ricerca di eventuali caratteri sui lati, presenti in alcune ruote di quello di Antikythera, onde evitare che venissero asportati con l'ossido in fase di pulitura, ma non ne sono stati rinvenuti. Con grande stupore, invece, dal restauro è emerso un dato inaspettato e ben più importante: il profilo dei denti dell'ingranaggio non è risultato triangolare, come quello dei meccanismi realizzati nei secoli successivi, ma curvo, e per di più straordinariamente simile, nella forma e nelle dimensioni, a quello dei denti degli ingranaggi moderni<sup>40</sup>. La perfezione dell'ingranamento, senza giochi eccessivi e interferenze, si raggiunge negli ingranaggi moderni il cui profilo coniugato è il risultato di studi matematici accurati e profondi formulati in epoca moderna, nei secoli XVII e XVIII, da scienziati come Hooke, Eulero, Roemer, Savary, de Lahaire, Willis e altri<sup>41</sup>. I denti triangolari degli ingranaggi come quelli del Calcolatore di Antikythera e dell'Astrolabio Bizantino, invece, permettono l'ingranamento, ma solo in modo molto grossolano<sup>42</sup> per l'eccessivo gioco fra i denti in presa e per problemi di interferenza, che provocano impuntamenti nella rotazione. Sotto l'aspetto cinematico e dinamico, inoltre, nella dentatura a profilo triangolare non viene assicurata la costanza della direzione della retta d'azione e quindi del rapporto di trasmissione del moto rotatorio. La costanza del rapporto viene invece assicurata dal profilo dei denti moderni (FIG. 7). Al computer ho ricostruito il profilo della corona dentata del reperto di Olbia e con gli stessi elementi caratteristici (diametro primitivo, diametro esterno, numero di denti, passo circonferenziale, modulo) sono state progettate una coppia di ruote con denti a profilo triangolare e una coppia di ruote dentate moderne. Alla coppia di ruote dentate di Olbia ricostruite ho sovrapposto, comparativamente, sia gli ingranaggi a profilo triangolare e sia gli ingranaggi moderni. Dalle accurate e precise misurazioni comparative sui profili risulta una impressionante coincidenza del profilo dei denti di Olbia con

40. Su questi cfr. A. GARRO, *Ruote dentate*, vol. I, Torino 1984; R. GIOVANNONZI, *Costruzione di macchine*, vol. II, Bologna 1965.

41. Il profilo delle ruote dentate, tuttavia, è stato possibile realizzarlo correttamente solo all'inizio del XX secolo con la costruzione di speciali macchine utensili dentatrici. Fino alla fine del XIX gli ingranaggi, infatti, venivano realizzati manualmente e quindi con una precisione insufficiente per un perfetto funzionamento del cinematismo.

42. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori*, cit.; DE Solla PRICE, *Gears from the Greeks*, cit., fig. 44.

quelli degli ingranaggi moderni<sup>43</sup>, mentre sono molto marcate le differenze dimensionali con gli ingranaggi a profilo triangolare.

Il reperto di Olbia presenta anche un dente rotto con inizio rottura a metà altezza, proprio dove comincia ad essere rilevante la sollecitazione di flessione, prova inconfutabile che l'ingranaggio faceva parte di un meccanismo che ha lavorato. Tale importante circostanza è confermata anche dal fatto che il reperto non è complanare ma, visto di profilo, risulta essere "ondulato". Infatti, una eccessiva sollecitazione di momento torcente applicato alla ruota dentata (dovuto ad eccessivo sforzo di azionamento e causato da impuntamento del meccanismo, quest'ultimo per insufficiente precisione costruttiva e per logoramento per l'uso), produce una sollecitazione di carico di punta sulla ruota stessa a cui consegue, data la sua snellezza, una deformazione di "sbandieramento" che la porta fuori dal suo piano geometrico.

Il reperto evidenzia una straordinaria precisione costruttiva, nonostante sia stato realizzato manualmente in un mondo in cui la tecnologia meccanica era di livello molto basso rispetto a quello attuale, e comunque insufficiente per un meccanismo così complesso cinematicamente, per la mancanza all'epoca di speciali attrezzature, macchine utensili e strumenti di misura, elementi indispensabili per eseguire una corretta lavorazione metalmeccanica.

In conclusione, la forte similitudine fra il profilo dell'Ingranaggio di Olbia e quello dei denti moderni ci fa presumere che l'inventore della geometria del profilo dei denti dell'ingranaggio avesse raggiunto un elevato livello di conoscenze scientifiche, dall'astronomia alla matematica, addirittura avveniristico di venti secoli.

Questo ingranaggio, compreso tutto il meccanismo di cui faceva parte, è sicuramente il frutto della mente di un genio o di uno sparuto numero di astronomi e matematici illuminati, il cui pensiero scientifico era avanti di secoli, se non addirittura di millenni, rispetto al loro tempo. Per di più, essendo più evoluto scientificamente, nonostante sia stato realizzato prima di tutti gli altri mecca-

43. Il profilo alla testa del dente del reperto di Olbia, misurato in senso normale all'asse del dente, è più largo nella misura massima di soli 3 centesimi di millimetro (0,03 mm) rispetto al profilo di un analogo dente moderno, costruito su una ruota dentata con uguali elementi caratteristici (diametro primitivo, numero di denti, passo circonferenziale, modulo), e questa impressionante precisione non è casuale ma si mantiene costante per tutti i denti esaminati.

nismi a noi finora pervenuti, ci induce a ritenere, con sufficiente certezza, che il pensiero scientifico avesse raggiunto l'apice più alto nel periodo ellenistico e poi, nei secoli successivi, abbia avuto una rilevante e rapida decadenza, tanto che, addirittura, il Calcolatore di Antikythera potrebbe intendersi come il segno di una decadenza già in atto, e che questa situazione si sia protratta fino all'epoca moderna.

Dalle fonti al momento disponibili, un uomo che corrispondeva a questa descrizione era Archimede di Siracusa, il matematico e inventore più stimato del suo tempo<sup>44</sup>. Data la pregevole fattura del reperto, le piccole dimensioni e tutte le conoscenze scientifiche che la sua realizzazione presuppone, è ragionevole pensare che sia un frammento del tanto celebrato Planetario di Archimede, anche perché il meccanismo o parte di esso non è mai stato ritrovato. Con la sua morte durante la presa della sua città da parte di Roma nel 212 a.C., gran parte della sua sapienza è andata perduta per sempre, così come risulta perduto il suo trattato *Sulla costruzione della Sfera*<sup>45</sup> (per i Pitagorici la parola "sfera" significava "astronomia") in cui illustrava i principi matematici e geometrici sulla costruzione del planetario. I Pitagorici, infatti, tranne alcuni (come proprio Archimede, anche se molte delle sue opere sono andate perdute), tramandavano solo oralmente le loro conoscenze e solamente a pochi iniziati e ciò ha portato alla perdita di gran parte del loro sapere.

Prima di procedere oltre nel verificare l'eventualità che l'Ingraggio di Olbia possa essere parte del Planetario di Archimede è però necessaria una comparazione tra il nostro reperto e il meccanismo di Antikythera.

44. Su Archimede in generale cfr. E. J. DIJKSTERHUIS, *Archimede*, Firenze 1989; A. FRAJESE (a cura di), *Archimede*, (Opere UTET), Torino 1974.

45. Come già detto, il libro è andato perduto. Notizie del libro ci pervengono da Pappus (III-IV secolo d.C. ca.), *Collectio*, VIII, 1026, ma non sappiamo, anzi è da escludere, che Archimede avesse descritto anche i particolari costruttivi del Planetario, ad esempio come realizzare lo speciale profilo coniugato dei denti, in quanto la dottrina pitagorica di cui era seguace consigliava di non divulgare appieno ai non iniziati ogni segreto della scienza.

## 8

**Analisi comparativa dei due meccanismi**

Considerando che il meccanismo di Antikythera e l'Ingranaggio di Olbia sono i meccanismi ad ingranaggi più antichi che ci sono finora pervenuti, ci si domanda se sono correlati fra loro e se la macchina di Antikythera sia stata inventata dallo stesso Archimede. Sappiamo dai testi antichi che lo scienziato costruì i planetari, ma potrebbe aver progettato anche il meccanismo Antikythera? Considerando che i due meccanismi sono stati realizzati con oltre centocinquanta anni di distanza, è difficile fare un collegamento diretto tra il meccanismo di Antikythera e Archimede. Quello che possiamo affermare con certezza è che la rivoluzione iniziata da Archimede in matematica e geometria indubbiamente è stata necessaria per quelli che, successivamente, hanno inventato il Calcolatore di Antikythera. La sua morte segnò l'inizio di un rapido declino delle grandi invenzioni e della scienza d'età ellenistica<sup>46</sup>. Senza Archimede e i progressi da lui raggiunti è difficile pensare che tali cinematismi potessero essere realizzati. Che il Planetario di Archimede e quello di Antikythera siano stati progettati e realizzati in epoche e quindi da autori differenti è alquanto evidente. Per questo, ritenendo valida l'ipotesi che l'Ingranaggio di Olbia facesse parte del Planetario di Archimede, dall'esame comparativo degli ingranaggi si deduce facilmente che alcuni dei modelli matematici utilizzati nell'ingranaggio ritrovato ad Olbia sono stati certamente utilizzati anche nella progettazione e nella costruzione dei rotismi del Calcolatore di Antikythera, ma con arretramenti molto evidenti nel diverso profilo dei denti.

Essendo stato il Calcolatore di Antikythera presumibilmente realizzato a Rodi intorno all'87 a.C.<sup>47</sup>, è ragionevole supporre che Cicerone fosse venuto a conoscenza della costruzione di questo Planetario<sup>48</sup> sia nell'87 a.C. quando fu allievo di Posidonio a Roma,

46. È ingannevole immaginare nell'antichità una continua crescita in tutti i campi: da più parti sembra ormai accertato che il contributo specifico di Roma alla scienza greca alessandrina sia stato pressoché nullo, determinando così una complessiva e rapida decadenza della cultura scientifica ellenistica, che si è protratta fino all'età moderna. A questa considerazione contribuisce in modo decisivo anche lo studio comparativo dell'Ingranaggio di Olbia.

47. DE Solla PRICE, *Gears from the Greeks*, cit.

48. CIC., *nat. deor.*, II, XXXIV-XXXV (87-88).

sia successivamente durante il suo soggiorno nell'isola greca (79-77 a.C.), che ricordiamo era la "Silicon Valley" dell'epoca. Peraltro potrebbe anche aver collaborato alla sua realizzazione sulla base delle impressioni scritte da Gaio Sulpicio Gallo, che aveva avuto modo di osservare lo straordinario strumento astronomico di Archimede (169-166 a.C.). Tali impressioni potrebbero anche derivare dall'utilizzo diretto del Planetario. È noto infatti che proprio il console Gaio Sulpicio Gallo prevede un'eclissi lunare alla vigilia della battaglia di Pidna<sup>49</sup>, evitando così che le truppe romane fossero intimorite dal fenomeno interpretandolo come segno di sventura, così come invece fecero i Macedoni. Essendo lo stesso console proprio l'autore dell'opera citata da Cicerone, è quanto meno molto probabile che la sua previsione di eclisse fosse basata sui dati ottenuti direttamente tramite il planetario in possesso di Marcello. Se l'eclisse di Luna era stata preventivamente determinata, è legittimo ipotizzare che la battaglia è stata strategicamente<sup>50</sup> provocata in quella data dal generale Lucio Emilio Paolo, comandante dell'esercito romano, proprio in virtù dell'evento celeste, vista anche l'inferiorità numerica dei soldati romani: 37.000 contro 42.000 macedoni di Perseo. La circostanza accrebbe il potere e l'autorevolezza di Gaio Sulpicio Gallo: «E nella notte che precede le None di Settembre, quando all'ora annunciata la Luna si oscurò, la sapienza di Gallo apparve ai soldati romani quasi divina»<sup>51</sup>. In un mondo in cui dominava la superstizione e con conoscenze scientifiche molto limitate e solo patrimonio di pochi, per qualunque individuo del mondo antico un congegno del genere avrebbe avuto un valore incalcolabile. Capire il movimento del Sole e della Luna nel cielo equivaleva ad entrare nella mente degli Dei. Per i sacerdoti e

49. La battaglia di Pidna fu combattuta il 21 e 22 giugno del 168 a.C. presso Pidna, città greca sulla costa macedonica della Pieria, tra il console romano Lucio Emilio Paolo e il re macedone Perseo. La prima notizia su Gaio Sulpicio Gallo si riferisce al 170 a.C. Nominato pretore urbano nel 169 a.C., l'anno successivo partecipò alla battaglia di Pidna come tribuno militare. PLIN., *nat.*, II, 9, 19, 83.

50. Sun Tzu (594-496 a.C.), generale e scrittore cinese, autore del trattato *L'arte della guerra*, sostiene che «la condotta della guerra si fonda sull'inganno». Cristoforo Colombo e molti altri utilizzarono la stessa strategia delle eclissi per ingannare gli avversari.

51. LIV., XLIV, 37. Tito Livio data l'eclissi al giorno prima delle None di Settembre (4 settembre) del 168 a.C.; oggi possiamo calcolare la data secondo il calendario giuliano retrodatato al 21 giugno.

gli astrologi dell'epoca, questa macchina straordinaria doveva essere una finestra sugli Dei.

È ovvio che tale citazione letteraria<sup>52</sup>, descrivendo solo il funzionamento del Planetario di Archimede così come ripete Cicerone in *De re publica* (54-51 a.C.), può aver certamente contribuito alla progettazione dei rotismi ordinari ed epicicloidali del meccanismo che avrebbero dovuto simulare i moti dei corpi celesti, ma indubbiamente non poteva dare nessun apporto alla realizzazione dei particolari costruttivi come lo speciale profilo coniugato dei denti. Questo ed altri analoghi dettagli potevano essere compresi e descritti solo da specialisti della scienza e della tecnologia meccanica, più difficilmente da un letterato come Gaio Sulpicio Gallo. La circostanza che Posidonio (135-151 a.C.), o chiunque sia stato il costruttore di Antikythera, non abbia riprodotto perfettamente l'apparecchio originale di Archimede, non avendone la stessa levatura matematica pur essendo un eminente scienziato del suo tempo, è prova che il Planetario di Archimede non era fisicamente disponibile al momento della costruzione del Planetario di Antikythera. Ciò ha comportato, di conseguenza, una riproduzione inesatta e anche piuttosto imprecisa, del Planetario realizzato dal grande genio siracusano. Tale circostanza conferma quanto sia stata rapida la decadenza del pensiero scientifico ellenistico dopo la morte di Archimede (212 a.C.), anche solo dopo poco più di un secolo.

Anche la composizione della lega di rame degli ingranaggi dei due meccanismi è differente, più appropriate sono le proprietà meccaniche dell'ottone utilizzato per quello di Olbia, meno adatte sono quelle del bronzo impiegato negli ingranaggi di Antikythera. Differenti sono anche i procedimenti seguiti nella costruzione delle ruote dentate perché molto diverse sono le proprietà tecnologiche delle due leghe di rame.

Il fatto che gli ingranaggi di Antikythera siano stati realizzati totalmente in bronzo (lega di rame e stagno), fu motivo di seria preoccupazione per De Solla Price, tanto da non riuscire a trovare autonomo convincimento sul perché non fosse stato utilizzato l'ottone (lega di rame e zinco), per le sue migliori proprietà meccaniche e tecnologiche, così come invece è avvenuto per la costruzione della maggior parte degli strumenti scientifici fin dal tardo Medioevo<sup>53</sup>.

52. L'opera di Gaio Sulpicio Gallo da cui attinge Cicerone è da ritenersi ormai perduta.

53. DE SOLLA PRICE, *Gears from the Greeks*, cit.

La letteratura latina<sup>54</sup>, asserendo che il Planetario di Archimede è stato realizzato in ottone, rafforza l'ipotesi che l'ingranaggio di Olbia sia proprio un frammento del Planetario di Archimede. La scelta di una lega inappropriata per la costruzione degli ingranaggi di Antikythera costituisce una ulteriore prova che il Planetario di Archimede da riprodurre non era in quel momento più disponibile, portando così alla realizzazione di una copia inesatta e grossolana. La rapida decadenza del pensiero scientifico ellenistico viene quindi confermata anche nella scienza dei materiali (metallurgia).

Tuttavia, sia l'Ingranaggio di Olbia così come il Calcolatore di Antikythera, provano l'altissimo grado culturale raggiunto dalla civiltà ellenistica, non solo sul versante umanistico e artistico, ma soprattutto su quello scientifico. I risultati conseguiti da questo studio sono scientificamente straordinari per le conseguenze che sottintendono e per le ricadute scientifiche e filosofiche, anche a livello di possibile riscrittura della storia della scienza. Il ritrovamento di questo ingranaggio avvalora, inoltre, quanto riferito da Cicerone sul Planetario di Archimede. Anche se di piccole dimensioni, il reperto di Olbia è di notevole valore archeologico e scientifico in quanto va a retrodatare di più di un secolo le conoscenze tecnico-scientifico-astronomiche che il Calcolatore astronomico di Antikythera già presupponeva. Il fatto, poi, che l'Ingranaggio di Olbia risulta essere, come già detto, ancora più evoluto rispetto a quello di Antikythera, apre una luce nuova e inattesa. In particolare si evidenzia la grande levatura scientifica dello scienziato siracusano.

Probabilmente altre apparecchiature del genere sono state prodotte e sono andate, forse definitivamente, perdute, in particolare nell'incendio della Biblioteca di Alessandria (e non solo), o sono ancora nascoste nel sottosuolo o in fondo al mare oppure, cosa ancora più frustrante, giacciono in qualche deposito museale perché non riconosciute. Se un gruppo di pescatori di spugne non si fosse imbattuto nel relitto della nave di Antikythera circa un secolo fa, quel calcolatore sarebbe ancora in fondo al mare a disintegrarsi lentamente per la corrosione, ma, una volta ripescato, se il meccanismo non avesse "trovato" un archeologo che era anche un fisico, quale De Solla Price, tacerebbe ancora anonimo in un deposito del Museo di Atene. Così pure se un avveduto archeologo, come Rubens D'Oriano, non avesse dato la giusta importanza ad un appa-

54. LACT., *inst.*, II, 5, 18.

rentemente insignificante e ossidato frammento di ottone di Olbia, non avremmo potuto conoscere quanto questo studio ci ha rivelato. Considerato quindi che gli antichi hanno probabilmente costruito altri meccanismi con ruote dentate e che, in mancanza di testi, solo dal loro studio è possibile conoscere appieno il livello del loro pensiero scientifico, sarebbe auspicabile che gli archeologi provvedessero ad un attento riesame dei reperti conservati nei depositi delle Soprintendenze.

## 9

**Il Calcolatore di Olbia è il Planetario di Archimede**

Alla luce delle argomentazioni fin qui svolte, ci pare pertanto possibile prospettare come verosimile la pertinenza del frammento di ruota di Olbia al Planetario di Archimede per i motivi di seguito addotti.

a) Ciò che sappiamo ad oggi su questi congegni fa ritenere piuttosto probabile che quello di Archimede fosse il primo e unico, a quel momento, mai realizzato, sia perché solo ciò giustifica appieno la redazione dell'opera *Sulla costruzione della Sfera* in cui egli ne tratta, sia perché tra gli scienziati ellenistici del tempo solo di lui conosciamo l'attività applicativa delle conoscenze teoriche volta alla realizzazione di "macchine", sia perché è lui il principale indiziato dell'invenzione dei denti a profilo curvo, ed ancora perché è probabile che sulla sola base del suo trattato fosse ben difficile realizzarne un altro, in quanto la dottrina pitagorica di cui era seguace consigliava di non divulgare appieno ai non iniziati ogni segreto della scienza. L'unicità del Planetario di Archimede risulta però anche da altre considerazioni.

L'esibizione in Roma di questo straordinario strumento astronomico pervenuto con il console Marcello nel 212 a.C., subito dopo l'occupazione e la distruzione di Siracusa, deve avere avuto un grande impatto sull'aristocrazia romana. Mostrato con orgoglio dal possessore e motivo di vanto tale che la famiglia, nella figura dell'omonimo nipote di Marcello, lo deteneva ancora funzionante nel 169-166 a.C. secondo quanto riferito da Cicerone che fa riferimento all'opera, ora perduta, di Gaio Sulpicio Gallo che aveva potuto osservarlo grazie alla cortesia del suo amico e collega di magistrature.

Pur ammettendo il desiderio di emulazione e il valore di *status symbol* che il possesso di un tale meccanismo inevitabilmente veniva ad assumere per l'aristocrazia romana, sempre incline a dare



ampio risalto a “risultati” della cultura ellenistica, la realizzazione di uno o più duplicati di un meccanismo tipo il Planetario di Archimede presupporrebbe però, la presenza di un “discepolo” in grado non solo di interpretare il trattato di Archimede ma soprattutto in possesso di competenze ed esperienze scientifiche e tecnico-operative molto “prossime” a quelle del maestro. Ad oggi non abbiamo alcuna evidenza letteraria di una tale presenza che, invece, avrebbe avuto una notevolissima rilevanza proprio per i motivi più sopra evidenziati e quindi sarebbe stata oggetto di innumerevoli riferimenti.

b) Dopo il 169-166 a.C., o almeno nel periodo di Cicerone, il Planetario non era più visibile, almeno a Roma. Sarebbe altrimenti inverosimile che un personaggio pubblico del tenore di Cicerone, tanto interessato alla figura di Archimede, non fosse in grado di osservare *de visu* un dispositivo che, invece, si limita a descrivere attingendo da opere altrui. Inoltre, i denti del meccanismo di Antikythera, essendo stati realizzati a forma triangolare con evidente grossolana approssimazione rispetto a quelli matematicamente perfetti quali i profili coniugati realizzati da Archimede, confermano che sia Cicerone che Posidonio non avevano visto il Planetario di Archimede. Tale circostanza avvalora ulteriormente la data di distruzione del Planetario di Archimede almeno prima dell'attività di Posidonio.

c) L'ultima disponibilità certa del meccanismo (169-166 a.C.) è compatibile con il ritrovamento del frammento di ruota nel sottosuolo di Olbia in uno strato riferibile alla metà del II secolo a.C.

d) È plausibile che il dispositivo meccanico, di cui aveva fatto parte il frammento di Olbia, sia stato utilizzato per un certo lasso di tempo visto che presenta la rottura di un dente e una lieve torsione da tensione meccanica. Del resto, nell'area dello scavo di Olbia non appare alcuna evidenza della presenza di eventuali attività di fusione di minerali che potrebbero far supporre la conservazione di frammenti metallici da utilizzare per rifusione.

e) È da ritenere, pertanto, che il frammento sia finito nel sottosuolo di Olbia perché lì deterioratosi alla metà del II secolo, il che può considerarsi del tutto compatibile con i circa cento anni di eventuale vita del Planetario di Archimede.

f) Quale che sia stato il dispositivo originario, doveva comunque trattarsi di un congegno sofisticato in possesso di qualche personaggio di rango evidentemente presente con funzioni di governo o simili a Olbia – o altrove in Sardegna – o di passaggio a Olbia, da o alla

volta di Roma, al momento della rottura dell'oggetto e che porta il congegno con sé esibendolo quale potente *status symbol*.

g) Risulta che proprio Marco Claudio Marcello, ultimo possessore conosciuto del Planetario di Archimede, fu inviato con urgenza in Spagna nel 152 a.C., incaricato di condurre la guerra contro i Celtiberi, e che nel 148 a.C. naufragò viaggiando alla volta della Numidia, ove era stato inviato quale ambasciatore presso il re Massinissa<sup>55</sup>. Che per andare dalla Spagna a Roma si praticasse anche la rotta che passa dalle Bocche di Bonifacio, e quindi con scalo a Olbia, è noto da molti dati archeologici. Altrettanto dicasi per i viaggi dall'Urbe al Nord Africa. Perciò in ben tre occasioni il possessore del Planetario di Archimede può essere transitato a Olbia dopo l'ultima notizia nota sull'oggetto e contemporaneamente alla dispersione nel terreno dell'Ingranaggio di Olbia. È evidente che in tali occasioni Marcello non avrebbe potuto non portare con sé il Planetario di Archimede da ostentare quale *status symbol* del potere personale oltre che familiare e, più in generale, dell'intera Roma. Il Planetario sicuramente poteva essere utilizzato anche per prevedere le eclissi per impressionare e intimorire così gli Iberi o Massinissa e i sudditi, o per rassicurare i soldati romani che gli eventi imminenti non erano nefasti, così come fece Sulpicio Gallo prima della battaglia di Pidna il 22 giugno del 168 a.C.

h) Il genio matematico e applicativo di Archimede è il principale indiziato per la concezione teorica del profilo coniugato dei denti della ruota di Olbia e della sua realizzazione in ottone.

i) Il numero di denti (55) della corona dentata, oltre ad essere ulteriore prova della corretta antica datazione del reperto, è più probabilmente parte di un cinematismo di un antico planetario, piuttosto che di un banale dispositivo meccanico o di un moderno orologio misuratore del tempo perché detta ruota, posta in una catena cinematica, non darebbe un numero intero quale rapporto di trasmissione complessivo, così come invece richiede la misurazione del tempo per ottenere una suddivisione "esatta" in 12 o 24 ore.

l) L'utilizzo dell'ottone al posto del bronzo, quest'ultimo molto più diffuso nell'antichità, meno prezioso ma anche meno adatto per la costruzione di organi meccanici fortemente sollecitati come le ruote dentate, conferma, anche nel campo della conoscenza e della scelta dei materiali, la presenza di una mente geniale. Tali peculiari conoscenze metallurgiche e progettuali non erano notori, so-

55. Cfr. A. Ibba in *Appendice*, pp. 1810-14.

prattutto in un periodo poco sviluppato nel campo della tecnologia meccanica. Infatti non risultano prodotti, né tanto meno rinvenuti, altri manufatti analoghi in ottone se non quelli che sono stati realizzati in epoca moderna, dopo circa due millenni.

*m)* Cronologia essenziale:

287 ca. a.C.	nascita di Archimede di Siracusa
250 ca. a.C.	presunta costruzione del Planetario di Archimede
212 a.C.	muore Archimede. Il generale Marco Claudio Marcello (270-208 ca. a.C.) porta a Roma il Planetario di Archimede
169-166 a.C.	Gaio Sulpicio Gallo osserva il Planetario di Archimede da Marco Claudio Marcello (nipote). Ultima notizia del Planetario
152 a.C.	Marco Claudio Marcello (nipote) inviato da Roma in Spagna e ritorno, passando presumibilmente da Olbia
metà II sec. a.C.	rottura e distruzione dell'Ingranaggio di Olbia (Planetario di Archimede)
148 a.C.	Marco Claudio Marcello (nipote) inviato da Roma in Numidia, passando presumibilmente da Olbia. Muore in naufragio nel viaggio di andata
135 a.C.	nascita di Posidonio, scienziato stoico di Rodi
106 a.C.	nascita di Marco Tullio Cicerone
87 a.C.	Cicerone e Pompeo sono allievi di Posidonio a Roma
87 ca. a.C.	probabile costruzione del Planetario di Antikythera
79-77 a.C.	soggiorno in Grecia e a Rodi di Cicerone
75 a.C.	Cicerone è questore in Sicilia e scopre la tomba di Archimede
80-50 ca. a.C.	probabile affondamento del Planetario di Antikythera
54-51 a.C.	Cicerone nel <i>De re publica</i> cita il Planetario di Archimede
51 a.C.	muore Posidonio di Rodi
43 a.C.	muore Cicerone
43 a.C.-18	Publio Ovidio Nasone cita nei <i>Fasti</i> il Planetario di Archimede
250-327 ca.	Lucio Cecilio Firmiano Lattanzio cita in <i>Divinae institutiones</i> il Planetario di Archimede
1902	recupero dal mare del Planetario di Antikythera
1951-74	De Solla Price studia il Planetario di Antikythera
1983	muore De Solla Price
1985	Jacques Cousteau ispeziona i fondali del sito di Antikythera
2005-06	analisi con tomografia assiale del reperto di Antikythera
2006 luglio	recupero in Olbia dell'Ingranaggio del Planetario di Archimede
2006-09	studio dell'Ingranaggio del Planetario di Archimede

## 10 Conclusioni

In virtù del quadro evidenziato nello scenario appena descritto e considerata la perfetta concordanza tra le evidenze scientifiche e le risultanze storiche, letterarie e archeologiche, non sembra per nulla azzardato concludere che quel frammento che sino ad ora abbiamo affermato far parte di un ipotetico Calcolatore di Olbia facesse invece parte integrante del Planetario di Archimede.

Evidentemente il Planetario di Archimede che Marcello portava con sé durante i viaggi di trasferimento per impegni politico-militari, in occasione di uno dei suoi scali ad Olbia, probabilmente durante una esibizione in onore delle autorità locali, dovette subire un danno irreparabile e finire così, in tutto o in parte, nel sottosuolo di Olbia.

Una sciagura per il nostro aristocratico ma una immensa fortuna per i posteri in quanto ha permesso di ampliare le conoscenze sulla scienza antica, tanto che non appare eccessivo poter prevedere un profondo riesame della storia della scienza, e, ancora, ha dato un notevole contributo alla conoscenza del genio di quello che possiamo considerare il più grande scienziato del periodo ellenistico.

Ci permette, inoltre, di comprendere ancor più il motivo che avrebbe indotto Marcello, comandante dell'esercito romano durante l'assedio di Siracusa, ad ordinare ai suoi soldati di salvare la vita dell'illustre scienziato siracusano probabilmente affinché anche Roma potesse usufruire dei servizi di cotanto genio.

Le nostre conclusioni servono poi a suffragare quanto da più scrittori sostenuto nelle loro opere letterarie, a partire da Cicerone, circa l'esistenza del Planetario di Archimede e della fama di tale dispositivo ancora dopo molti secoli dalla sua scomparsa, a testimonianza del valore che il mondo romano assegnava alle meraviglie scientifiche prodotte dagli scienziati di origine greca.

Infine, i tanti riferimenti esistenti nella letteratura latina, suffragati dalle risultanze delle nostre ricerche, ci permettono di raccogliere una maggiore evidenza delle forme di esibizione del rango che le élite di Roma adottavano per l'acquisizione di prestigio agli occhi sia dei Romani stessi che dei popoli di recente annessione al nascente impero.

## Appendice

### Politica e spostamenti di Marco Claudio Marcello

di Antonio Ibba

Marco Claudio Marcello<sup>56</sup> (nipote del grande Marco Claudio Marcello<sup>57</sup> eroe della seconda guerra punica, figlio dell'omonimo Marcello<sup>58</sup>, filocatoniano, console nel 196 e censore nel 189 a.C., che combatté a più riprese contro i Galli Boi o Insubri e fu accanito rivale di Annibale), può essere inserito a buon diritto nella fazione dei "senatori contadini", favorevoli a un impegno indiretto in politica estera e contrari alla politica imperialistica degli Scipioni, per questo motivo spesso politicamente convergenti verso gli interessi del gruppo orbitante attorno a Lucio Emilio Paolo<sup>59</sup>.

Alla morte del padre nel 177 a.C., il nostro ne prese il posto nel collegio dei pontefici. Tribuno della plebe nel 171 a.C., raggiunse la pretura nel 169 a.C. con l'incarico di governare le province iberiche, dove combatté contro i Celtiberi sino al 168 a.C. Prima della partenza, tuttavia, con il suo collega Gaio Sulpicio Gallo, legato a Lucio Emilio Paolo si espresse contro l'operato dei consoli in carica e in favore della plebe che si rifiutava di arruolarsi per la guerra contro Perseo: per questo motivo il Senato invitò entrambi a provvedere in prima persona alla leva<sup>60</sup>. Marcello e Gallo rivesti-

\* Antonio Ibba, Dipartimento di Storia, Università degli Studi di Sassari.

56. *RE*, s.v. *Claudius* n. 225 [F. MÜNZER], vol. III, 2, Stuttgart 1899, coll. 2758-60; *NP*, s.v. *Claudius* n. I 13 [K.-L. ELVERS], vol. 3, Stuttgart 1997, col. 10.

57. *RE*, s.v. *Claudius* n. 220 [F. MÜNZER], cit., coll. 2738-55; *NP*, s.v. *Claudius* n. I 11 [K.-L. ELVERS], cit., coll. 9-10.

58. *RE*, s.v. *Claudius* n. 222 [F. MÜNZER], cit., coll. 2755-57; *NP*, s.v. *Claudius* n. I 12 [K.-L. ELVERS], cit., col. 10. Sull'atteggiamento politico di Marcello, in parte differente da quello paterno, cfr. F. CASSOLA, *I gruppi politici romani nel III secolo a.C.*, Trieste 1962, pp. 390-1, 427 n. 40; H. H. SCULLARD, *Roman politics 220-150 B.C.*, Oxford 1973 (2<sup>a</sup> ediz.), pp. 106-8, 114, 122, 137-8, 284; S. LANCEL, *Hannibal*, Paris 1995, p. 306. In questo senso, non vanno sottovalutati il tentativo di farsi attribuire nel 196 a.C. la guerra in Macedonia (in opposizione all'imperialismo illuminato di Flamini-no e alla visione degli Scipioni), l'ambasceria a Cartagine nel 195 a.C. che portò alla fuga di Annibale presso Antioco III (ancora contro l'Africano), il veto al trionfo di Lucio Cornelio Merula nel 193 a.C., lo scontento manifestato nell'applicazione del plebiscito del 189 a.C., caldeggiato presumibilmente sempre da Scipione l'Africano.

59. In proposito CASSOLA, *Gruppi politici romani*, cit., pp. 354, 375-6. In questo senso, oltre ai rapporti amicali con Gaio Sulpicio Gallo (*infra*), le relazioni fra i Catoniani e il gruppo di Paolo parrebbero sancite dal matrimonio fra Marco Catone Liciniano e la figlia del vincitore di Pidna, Emilia Terza, anteriore al 152 a.C.

60. Su Gallo cfr. *RE*, s.v. *Sulpicius* n. 66 [F. MÜNZER], vol. IV, A, 1, Stuttgart 1931, coll. 808-11; *NP*, s.v. *Sulpicius* n. I 14 [S. A. TAKACS], vol. 11, Stuttgart 2001, col. 110. Si veda inoltre SCULLARD, *Roman politics*, cit., pp. 203-4, 228. Gallo era molto legato a Paolo, che aveva accompagnato nella penisola iberica nel 191 e contro

rono insieme il consolato nel 166 a.C. e, inviati in Italia settentrionale, trionfarono sui Galli Alpini e sui Liguri. In quegli anni Gallo, esperto astronomo e seguace dei Pitagorici, poté osservare proprio in casa del collega il perfetto Planetario di Archimede<sup>61</sup>: la fonte non chiarisce la cronologia dell'aneddoto, che potrebbe essere anteriore al 166 a.C. e dunque connettersi a un celebre episodio della III guerra macedonica, quando Gallo, tribuno militare della legione II al seguito di Lucio Emilio Paolo, predispose alle truppe schierate a Pidna l'eclissi lunare del 21-22 giugno 168 a.C.<sup>62</sup>

Nel 155 a.C. rivestì il secondo consolato con Publio Cornelio Nasica Corculo<sup>63</sup>, personaggio di riferimento nella famiglia di Scipione l'Africano, alle cui moderate posizioni si era ormai avvicinato Marcello contro "l'imperialismo militare" inseguito in Senato dalle nuove generazioni. Il nostro ancora una volta fu inviato nel Nord della penisola, ottenendo importanti successi contro i Liguri Apuani, celebrati con un trionfo e con una base di statua elevata nella colonia di Luni<sup>64</sup>. L'associazione di Marcello a Corculo, seppure determinata da contingenti esigenze militari e dalla necessità di avere alla guida dell'esercito capaci comandanti, non può che destare curiosità nel nostro discorso giacché anche Corculo come Gallo doveva essere un appassionato di astronomia, se durante la sua censura (159 a.C.) aveva fatto realizzare dentro la basilica *Aemilia et Fulvia* a Roma una clessidra ad acqua (*solarium*), probabilmente calibrata sui movimenti del sole<sup>65</sup>: viene da chiedersi se alla precisione di questo strumento non abbia contribuito anche il Meccanismo di Archimede.

Le sconfitte subite fra il 154-2 a.C. contro Celtiberi e Lusitani da sconsiderati comandanti, il pericolo che nella penisola iberica divampasse una guerra lunga e sanguinosa, che avrebbe posto fine ai benefici effetti del trattato di Tiberio Sempronio Gracco del 178 a.C., portarono al terzo consolato di Marcello nel 152 a.C., forse con una speciale risoluzione presa dal Senato e dai Comizi. Marcello partì alla fine del 153 a.C. per l'*Hispania Citerior*, dove rimase sino al 151 a.C.: l'urgenza del viaggio potrebbe avergli suggerito di scegliere una rotta più breve ma anche pericolosa, ben nota ai Romani, e che dal Lazio passava attraverso le Bocche di Bonifacio (facendo tappa verosimilmente a Olbia) per poi puntare verso le Baleari<sup>66</sup>. Marcello

i Liguri nel 182-1. L'azione dei due pretori mirava a screditare i consoli e in prospettiva a offrire a Paolo il comando della spedizione in Macedonia.

61. CIC., *rep.*, I, 14, 21-22; Cfr. L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Milano 2001, pp. 107-9.

62. POLYB., XXI, 6 (10), 1-4; CIC., *Cato*, 14, 49; *off.*, I, 6, 19; LIV., XLIV, 37, 5-9; VAL. MAX., VIII, 11; PLIN., *nat.*, II, 53; QUINT., *inst.*, I, 10, 47; FRONTIN., *strat.*, I, 12, 8.

63. RE, s.v. *Cornelius* n. 353 [F. MÜNZER], vol. IV, 1, Stuttgart 1900, coll. 1497-501, cfr. SCULLARD, *Roman politics*, cit., p. 229.

64. CIL I<sup>2</sup>, 623 = IX, 1339; ILLRP, 325. SCULLARD, *Roman politics*, cit., pp. 228-9.

65. PLIN., *nat.*, VII, 215; CENSORIN., XXIII, 7; VARRO, *ling.*, VI, 4.

66. Non si può d'altronde escludere che Marcello partisse dalla a lui ben nota base di Luni per seguire le coste della Liguria, della Provenza e infine della Spagna.

condusse una spedizione contro i Lusitani e, isolati i Celtiberi, sistemati i suoi *hiberna* a *Corduba* in *Uterior*, riuscì a ottenere dagli indigeni la pace e un ripristino delle condizioni del 178 a.C., ma in Senato la sua proposta fu rigettata dalla fazione degli Scipioni (dove ormai Corculo era in posizione minoritaria) e dei Fulvii che, vantando vaste clientele nella regione, erano interessati a un controllo diretto della regione. Per questo motivo Marcello fu rimosso con ignominia dall'incarico e sostituito dall'*homo novus* Lucio Licinio Lucullo, accompagnato nella provincia dal giovanissimo P. Cornelio Scipione Emiliano<sup>67</sup>.

Alla fine del 149 a.C. o all'inizio del 148 a.C. Marcello con altri due ambasciatori fu inviato presso la corte del re di Numidia, Massinissa<sup>68</sup>. È difficile interpretare le motivazioni di questa missione, che cadeva poco dopo lo scoppio della III guerra punica e che potrebbe essere variamente intesa come disturbo o appoggio alla linea politica di Catone (in questo caso convergente con quella dell'Emiliano, lui pure presente in Africa come tribuno della legione IV), o a quella opposta di Corculo, che il conflitto aveva cercato di scongiurare<sup>69</sup>. È verosimile che la missione si sia diretta

67. POLYB., xxxv, 2-4,8; APPIAN., *Hisp.*, XLVIII-L. Cfr. E. BADIAN, *Foreign clientelae* (264-70 B.C.), Oxford 1958, pp. 123-5; A. E. ASTIN, *Scipio Aemilianus*, Oxford 1967, pp. 3-4, 37-42, 149; SCULLARD, *Roman politics*, cit., pp. 233-4; W. V. HARRIS, *War and Imperialism in Republican Rome 327-70 B.C.*, Oxford 1979, pp. 34, 36, 69; F. W. WALBANK, *An Historical commentary on Polybius*, Oxford 1979, III, pp. 642-7; Z. W. RUBINSON, *The Viriatic War and its Roman repercussions*, «RSA», 11, 1981, pp. 161-204 (in particolare pp. 181-2, 185-6); J. S. RICHARDSON, *The Romans in Spain*, Cambridge 1998, pp. 62-4, 79, 122; sull'elezione di Marcello, M. CRAWFORD, *The Roman Republic*, Harvard 1992 (2<sup>a</sup> ediz.), p. 73. Matura nel circolo degli Scipioni la cattiva fama di Marcello, recepita da Polibio e parzialmente da Appiano. Astin tuttavia attenua l'influenza dell'Emiliano nella nomina di Lucullo e nel rimpatrio di Marcello.

68. LIV., *per.*, I, 9; CIC., *Pis.*, 44; *div.*, II, 14; *fat.*, 33; ASCON., *Pis.*, p. 11, cfr. APPIAN., *Pun.*, CV; B. A. MARSHALL, *An Historical Commentary on Asconius*, Columbia 1985, p. 102. Non si può dunque escludere che la missione si svolse all'inizio del 149 a.C.

69. BADIAN, *Foreign clientelae* (264-70 B.C.), cit., pp. 130-8; P. ROMANELLI, *Storia delle province romane dell'Africa*, Roma 1959, pp. 31-6; CASSOLA, *Gruppi politici romani*, cit., pp. 354-5; ASTIN, *Scipio Aemilianus*, cit., pp. 49-58; SCULLARD, *Roman politics* 220-150 B.C., cit., pp. 240-5, 287-9; B. EL KADIRI BOUTCHICH, *Les relations politiques de Rome avec le royaume de Numidie pendant la III<sup>e</sup> guerre punique*, in *L'Africa romana* XV, pp. 1580-9. Non tutti concordano sulle divisioni fra Corculo e l'Emiliano; è in ogni caso difficile capire le motivazioni dell'ambasceria presso Massinissa, che sdegnosamente si era tenuto lontano dal conflitto: forse Marcello sperava di convincere il re ad aiutare l'esercito consolare, in grave difficoltà durante il 149 a.C. contro l'inattesa resistenza di Cartagine; forse la missione era di disturbo alle manovre dell'Emiliano, che dallo stesso Massinissa fu invitato a regolare la sua successione al regno al principio del 148 (sarebbe, infatti, morto di lì a poco), cfr. POLYB.,

senza deviazioni in Algeria, verso *Hippo Rbegius* (Annaba) o *Rusicade* (Skikda), entrambe ben collegate alla capitale *Cirta*<sup>70</sup>, in ogni caso passando al largo delle coste sarde e facendo tappa nei porti dell'isola, il primo dei quali sicuramente Olbia. Il viaggio si concluse drammaticamente: durante una tempesta Marcello e la sua nave scomparvero fra i flutti e di loro si persero le tracce, come tristemente ricordano gli antichi, opponendo ai fasti della vita l'oscura morte, che tolse al nostro gli onori di quel solenne funerale che avrebbe meritato.

XXXVI, 16, 10; LIV., *per.*, I; VAL. MAX., V, 2, 4; APP., *Lib.*, CV-CVII; EUTR., IV, 11; OROS., IV, 22, 8; ZONAR., 9, 27.

70. K. MANSOURI, *Réflexions sur les activités portuaires d'Hippo Regius (Hippone-Annaba) pendant l'Antiquité*, in *L'Africa romana* XIV, pp. 511-6, 522-3.